

Оптимизация каскада центрифуг для разделения многокомпонентной смеси изотопов*Палкин В.А. (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)*

При обогащении природного урана каскад центрифуг можно оптимизировать методом [1]. Этот метод, однако, не применим для регенерированного урана, поскольку нельзя пренебречь содержанием в смеси изотопов $^{232}, ^{234}, ^{236}\text{U}$. В этом случае каскад с заданным числом центрифуг по ступеням можно оптимизировать согласно [2]. Для оптимизации в более общем случае, как и при многокомпонентном разделении других изотопов, целесообразна разработка специальных методов, учитывающих задаваемые критерии оптимизации. С помощью метода, пригодного для разных критериев оптимизации разделения многокомпонентных смесей [3], можно оптимизировать каскады. Однако метод является приближенным с точки зрения получения наилучших параметров каскадов центрифуг, так как коэффициенты разделения ступеней задаются константами.

Целью настоящей работы является разработка аналогичных методов для каскада газовых центрифуг, характеризующегося существенной зависимостью коэффициентов разделения ступеней от потока питания и коэффициента деления потока. Предложена вычислительная схема оптимизации, с помощью которой можно рассчитать оптимальные параметры каскада центрифуг при разных критериях эффективности.

Основные расчетные формулы. На рисунке приведена симметричная схема каскада газовых центрифуг для разделения многокомпонентной смеси изотопов. Приняты следующие обозначения: n – число ступеней каскада, f – номер ступени подачи питания каскада, m – число компонентов в смеси, F, P, W – потоки питания, отбора и отвала каскада соответственно, C_j^F , C_j^P , C_j^W – концентрация j -го компонента в питании, отборе и отвале каскада, $j = \overline{1, m}$. Внешние параметры каскада, в число которых входят потоки F, P, W , концентрация C_j^F , C_j^P , C_j^W , $j = \overline{1, m}$, связаны уравнениями баланса

$$F = P + W; \quad FC_j^F = PC_j^P + WC_j^W, \quad j = \overline{1, m}.$$

По определению покомпонентная сумма концентрации для питания, отбора и отвала каскада равна единице (условия нормировки):

$$\sum_{j=1}^m C_j^F = 1; \quad \sum_{j=1}^m C_j^P = 1; \quad \sum_{j=1}^m C_j^W = 1.$$

Внутренними параметрами каскада являются потоки питания, отбора и отвала ступеней L_i , L'_i , L''_i и их концентрация C_{ji} , C'_{ji} , C''_{ji} , где $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$. Эти переменные должны удовлетворять условиям нормировки концентрации, уравнениям баланса вещества и каждого изотопа, уравнениям связи потоков между ступенями, а также разделительным характеристикам ступеней. К внутренним параметрам относятся также число ступеней каскада n , номер ступени подачи внешнего питания f , число газовых центрифуг в ступенях N_i , $i = \overline{1, n}$.

Уравнения баланса ступеней записываются в виде

$$L_i = L'_i + L''_i; \quad L_i C_{ji} = L'_i C'_{ji} + L''_i C''_{ji}, \quad j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}.$$

Уравнения связи потоков между ступенями определяются согласно схеме на рисунке. Для потоков вещества это соотношения вида

$$L_1 = L''_2; \quad L_2 = L'_1 + L''_3; \quad \dots \quad L_f = L'_{f-1} + L''_{f+1} + F; \quad \dots \quad L_n = L'_{n-1}.$$

Для потоков каждого изотопа справедливы аналогичные формулы

$$L_1 C_{j1} = L''_2 C''_{j2}; \quad L_2 C_{j2} = L'_1 C'_{j1} + L''_3 C''_{j3}; \quad \dots \quad L_n C_{jn} = L'_{n-1} C'_{jn-1}, \quad j = \overline{1, m}.$$

Разделительные характеристики ступеней задаются зависимостью коэффициентов деления каждого компонента q_{ji} от потока питания центрифуги $l_i = L_i / N_i$ и коэффициента деления потока ступени $\theta = L'_i / L_i$, т.е. $q_{ji} = q_{ji}(l_i, \theta_i)$. В качестве базового компонента, по которому рассчитываются коэффициенты деления, удобно принять самый тяжелый изотоп. Компоненты пронумерованы в порядке возрастания их молекулярной массы. Тогда

$$q_{ji} = \frac{C'_{ji} C''_{mi}}{C''_{ji} C'_{mi}}, \quad j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}.$$

Процессы деления в центрифугах определяются разностью молекулярной массы изотопов. Поэтому коэффициенты деления q_{ji} выражаются через $\Delta M_{jm} = M_m - M_j$ по

формулам $q_{ji} = q_{0i}^{\Delta M_{jm}}$, где q_{0i} – коэффициент разделения на единицу разности молекулярной массы. Отсюда следует, что достаточно знать зависимости $q_{si} = q_{si}(l_i, \theta_i)$ для целевого s -го компонента. Коэффициенты разделения для других изотопов вычисляются как $q_{ji} = (q_{si})^{\Delta M_{jm} / \Delta M_{sm}}$.

С учетом граничных условий, которые связывают внешние и внутренние параметры

$$W = L_1''; \quad P = L_n'; \quad C_j^W = C_{j1}''; \quad C_j^P = C_{jn}', \quad j = \overline{1, m},$$

общее число независимых параметров каскада составляет $2n+m+2$.

Выбор указанных параметров зависит от критерия эффективности каскада. При проектировании каскада важно минимизировать суммарное число центрифуг, т.е. $\sum_{i=1}^n N_i \rightarrow \min$ при заданных внешних потоках, изотопном составе потока на питании и концентрации целевого изотопа в отборе и отвале. В этом случае $m+2$ внешних независимых параметров, например, $P, C_s^P, C_s^W, C_j^F, j = \overline{1, m-1}$ являются заданными. В число варьируемых при оптимизации $2n$ величин целесообразно включить $n, p, q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{sn}, C_{s2}'', C_{s3}'', \dots, C_{sn-1}''$. Такой выбор обусловлен методом расчета потоков и концентрации ступеней при заданных коэффициентах разделения [3]. В этом случае число центрифуг в ступенях находится по коэффициенту разделения, потоку питания и коэффициенту деления потока q_{si}, L_i, θ_i из зависимостей $q_{si} = q_{si}(L_i / N_i, \theta_i)$.

Такая постановка не является единственной. В частности, суммарное число центрифуг можно минимизировать при заданных числе ступеней и номере ступени подачи питания. Кроме того, для введенного в эксплуатацию каскада критерий $\sum_{i=1}^n N_i \rightarrow \min$ может быть заменен на максимальный поток отбора, т.е. $P \rightarrow \max$. Здесь задается суммарное число центрифуг и $m+1$ внешних независимых параметров $C_s^P, C_s^W, C_j^F, j = \overline{1, m-1}$, поток отбора P находится при оптимизации. Варьируемыми параметрами удобно выбрать $2n-1$ величин: $n, p, L_2'', L_3'', \dots, L_{n-1}'', N_1,$

N_2, \dots, N_{n-1} . Частным случаем такой оптимизации является задание распределения центрифуг по ступеням [2].

Выбор параметров $n, p, N_1, N_2, \dots, N_{n-1}$ эксплуатационного каскада ограничен компоновкой оборудования, поэтому наилучшие их значения находятся численным перебором. Для каждого фиксированного набора величин и выбранного потока P путем варьирования параметров $q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{sn}, C''_{s2}, C''_{s3}, \dots, C''_{sn-1}$ следует минимизировать сумму квадратов разностей задаваемого и вычисляемого из формулы $q_{si} = q_{si}(L_i / N_i, \theta_i)$ числа центрифуг по ступеням. Наибольший поток P , при котором эта сумма обращается в нуль, соответствует его оптимизации.

Таким образом, частным критерием оптимизации является

$$\Psi(q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{sn}, C''_{s2}, C''_{s3}, \dots, C''_{sn-1}) \rightarrow \min,$$

где Ψ – целевая функция, поиск минимума которой ведется по параметрам, приведенным в круглых скобках. В этом случае фиксируются переменные n, p и считаются заданными внешние параметры $P, C_s^P, C_s^W, C_j^F, j = \overline{1, m-1}$. Такой критерий можно использовать во внутреннем цикле оптимизации при минимизации числа центрифуг, поиске максимального потока отбора и использовании других критериев эффективности каскада. Его вариацией может быть сокращение варьируемых переменных путем фиксации отдельных величин. Так при оптимизации могут быть заданы коэффициенты разделения ступеней, что упрощает поиск оптимальных параметров и ограничивает режимы работы центрифуг при заданных числе ступеней и номере ступени подачи питания.

Особенности оптимизации. В расчетах по критерию $\Psi \rightarrow \min$ можно применять пошаговый метод оптимизации [4]. На каждом шаге оптимизации, определяемом выбранным набором $q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{sn}, C''_{s2}, C''_{s3}, \dots, C''_{sn-1}$, следует рассчитать параметры каскада по ступеням.

Сначала выбирается приближенно неизвестная концентрация нецелевых изотопов в отборе и отвале каскада, которая затем уточняется расчетом. Далее из граничных условий находится для каждого компонента концентрация отвала первой и отбора последней ступеней, соответствующая внешней концентрации каскада. После чего вычисляется концентрация

целевого изотопа в отвале последней ступени $C''_{sn} = a_{sn} C'_{sn} / \sum_{k=1}^m a_{kn} C'_{kn}$, где $a_{kn} = 1 / q_{kn}$.

Дальнейшие расчеты проводятся по ступеням с использованием соотношений

$$C'_{ji} = q_{ji} C''_{ji} / \sum_{k=1}^m q_{ki} C''_{ki}, \quad j = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n};$$

$$L''_i = (\tau_{si} - \tau_i C'_{si-1}) / (C'_{si-1} - C''_{si}), \quad i = \overline{2, n};$$

$$C''_{ji} = C'_{ji-1} - (\tau_{ji} - \tau_i C'_{ji-1}) / L''_i, \quad j \neq s, \quad i = \overline{2, n}.$$

Здесь τ_{ji} и τ_i – транзитные потоки j -го изотопа и вещества в сечении перед i -й ступенью. Они находятся по внешним параметрам каскада: $\tau_{ji} = -WC_j^W$, $\tau_i = -W$ при $i \leq n$ и $\tau_{ji} = PC_j^P$, $\tau_i = P$ при $i > n$.

Расчет заканчивается проверкой сходимости полученных значений C'_{jn} , $j \neq s$ с аналогичными, выбранными первоначально по внешней концентрации. Если эти параметры не совпадают с заданной точностью, то внешняя концентрация нецелевых изотопов изменяется и вычисления повторяются. Такие итерации можно проводить целенаправленно, например, путем минимизации суммы квадратов невязок концентрации. В случае, когда указанная концентрация по каждому изотопу совпадает, рассчитывается целевая функция ψ и принимается решение о новом шаге оптимизации.

Оптимизация каскада по критерию минимума суммарного числа центрифуг. Для проверки разработанной методики и исследования особенностей оптимизации был проведен вычислительный эксперимент по определению оптимальных параметров модельных каскадов. Рассматривалось разделение изотопов регенерированного урана.

В табл. 1, 2 приведены внешние и внутренние параметры характерного каскада, оптимизированного по критерию минимума суммарного числа центрифуг. Содержание изотопов урана в исходной смеси было принято равным, %: $0,85 \text{ }^{235}\text{U}$, $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ }^{232}\text{U}$, $0,016 \text{ }^{234}\text{U}$, $0,35 \text{ }^{236}\text{U}$, $98,784 \text{ }^{238}\text{U}$. Оптимизация выполнялась с варьированием числа ступеней и номера ступени подачи питания при заданной концентрации ^{235}U в отборе 4,4 и отвале 0,3 %. В расчетах использовали одинаковые зависимости коэффициентов разделения для всех ступеней.

В качестве базового компонента был принят тяжелый изотоп ^{238}U . Для целевого компонента ^{235}U коэффициент разделения вычисляли по формуле $q_{3i} = \exp(\varepsilon_i)$, где коэффициент обогащения $\varepsilon_i = a_0 + a_1\theta_i - a_2\theta_i^2 - a_3 \ln(l_i)$. При этом было принято $a_0 = 1$, $a_1 = 1$, $a_2 = 1$, $a_3 = 0,2$, что соответствует подстановке l_i в мг/с.

Видно, что распределение числа центрифуг по ступеням оптимального каскада имеет характерную форму, соответствующую распределению потоков в идеальном каскаде. Наибольшее число центрифуг имеет ступень, в которую подается внешнее питание каскада, наименьшее – ступень отбора. Параметры центрифуг по ступеням имеют небольшой разброс. Потоки питания составляют 64–80 мг/с, коэффициенты деления потока 0,45–0,47, коэффициенты разделения q_{3i} 1,45–1,52, внутренние параметры каскада обеспечивают высокую эффективность работы каскада – коэффициент полезного действия η_{cx} и коэффициент использования разделительной мощности $K_{\text{ум}}$ равны 99,9 и 99,5 % соответственно.

Коэффициент полезного действия и коэффициент использования разделительной мощности рассчитывали по формулам: $\eta_{\text{cx}} = E_K / E_C$ и $K_{\text{ум}} = E_K / E_{\text{max}}$, где E_K – разделительная способность каскада, E_C – суммарная разделительная способность ступеней, E_{max} – максимально возможная разделительная способность центрифуг. Разделительную способность определяли по выражению $E_K = PV(\mathbf{C}^P) + WV(\mathbf{C}^W) - FV(\mathbf{C}^F)$ при подстановке потенциала разделения [5]

$$V(\mathbf{C}) = (C_3 - C_5) \ln \left(\frac{C_3}{C_5} \right) + \left(\frac{\Delta M_{35}}{\Delta M_{13}} \right)^2 C_1 \ln \left(\frac{C_1}{C_3} \right) + \left(\frac{\Delta M_{35}}{\Delta M_{23}} \right)^2 C_2 \ln \left(\frac{C_2}{C_3} \right) + \left(\frac{\Delta M_{35}}{\Delta M_{43}} \right)^2 C_4 \ln \left(\frac{C_4}{C_3} \right),$$

наиболее подходящего для оптимизации разделения регенерированного урана [2]. Здесь $\mathbf{C} = (C_1, C_2, \dots, C_5)$ – вектор концентрации компонентов смеси, пронумерованных в порядке возрастания молекулярной массы. Суммарную разделительную способность ступеней находили суммированием аналогичных выражений, рассчитанных для ступеней по потенциалу разделения. Максимальную разделительную способность центрифуг вычисляли по формуле

$$E_{\max} = e_{0\max} \sum_{i=1}^n N_i, \text{ где } e_{0\max} - \text{максимальная разделительная способность одной центрифуги,}$$

найденная с использованием потенциала разделения для наилучших значений потока питания и коэффициента деления потока.

Высокие значения коэффициента полезного действия и коэффициента использования разделительной мощности свидетельствуют о малых потерях разделительной способности каскада из-за смешения и работы ступеней в неоптимальных режимах.

Оптимизация каскада при смещении точки подачи питания. Расчеты показали, что смещение точки подачи питания каскада относительно оптимального положения, соответствующего минимально возможному числу центрифуг, существенно изменяет концентрацию нецелевых изотопов в отборе и отвале каскада. Если оптимизация проводится по ^{235}U с заданным числом ступеней, смещение в сторону отбора увеличивает в нем концентрацию изотопов с меньшей молекулярной массой ^{232}U и ^{234}U , в то время как концентрация изотопа ^{236}U с большей массой в отборе снижается, в отвале увеличивается. Аналогичный эффект проявляется при оптимизации каскада на заданную внешнюю концентрацию ^{232}U . В этом случае при смещении точки питания в сторону отбора в отвале возрастает концентрация всех других изотопов, имеющих большую молекулярную массу.

Это позволяет очищать регенерированный уран от ^{232}U . При заданной концентрации ^{232}U можно увеличить содержание ^{235}U в отвальном потоке каскада центрифуг. В результате, задав низкую концентрацию ^{232}U в отвале и повысив содержание ^{235}U , можно значительно очистить регенерированный уран. Увеличение концентрации ^{235}U в отвале каскада сопровождается одновременным уменьшением концентрации отбора. Поэтому с помощью данного способа можно уменьшить обогащение ^{235}U в отборе.

В табл. 3 представлены внешние параметры каскада, оптимизированного на концентрацию ^{232}U в отвале $4 \cdot 10^{-10} \%$, отборе $9,1 \cdot 10^{-6} \%$, при разных положениях точки подачи питания. Исходный состав изотопов регенерата урана задавался таким же. В расчетах приняты аналогичные разделительные характеристики центрифуг. Для исключения режимов работы центрифуг с малыми потоками питания коэффициенты разделения задавали одинаковыми по

ступеням и равными для целевого изотопа ^{232}U $q_{li} = 2,25$. Кроме того, в последней ступени была введена закрутка на питание ($L_{зак} = 30$ г/с), что увеличивает коэффициент деления потока и снижает суммарное число центрифуг каскада. Число ступеней $n=34$ было определено в результате предварительных расчетов R -каскадов [6] с ключевыми компонентами ^{232}U и ^{235}U . Из табл. 3 следует, что при подаче питания в последнюю ступень ($p=34$) концентрация ^{235}U в отвале составляет 0,797 %, в то время как при $p=28$, соответствующем минимально возможному числу центрифуг, она равна 0,646 %.

В табл. 4 показаны характеристики ступеней оптимального каскада при подаче питания в последнюю ступень. Число центрифуг в ступенях монотонно возрастает от отвала каскада к отбору. Это характерная особенность оптимизации каскада центрифуг при подаче питания в крайнюю ступень. Потоки питания ступеней меняются от 52 до 66 мг/с, коэффициенты деления потока от 0,27 до 0,43. Эти параметры меньше, чем в табл. 2. Данный факт объясняется оптимизацией каскадов на разные целевые изотопы.

Следует отметить, что высокая очистка регенерированного урана обусловлена не только оптимизацией режимов работы ступеней каскада по ^{232}U , но и целенаправленным смешением потоков с разной концентрацией в ступени подачи питания. Это отражается в низких показателях коэффициента полезного действия и коэффициента использования разделительной мощности, рассчитываемых с помощью потенциала разделения [5], который введен исходя из рассмотрения идеализированного процесса с отсутствием потерь разделительной способности.

Заключение. Разработанная методика позволяет рассчитать оптимальные параметры каскадов центрифуг при разных критериях оптимизации. При оптимизации каскада по критерию минимума суммарного числа центрифуг при заданных внешних потоках и концентрации целевого изотопа с варьированием всех внутренних параметров достигаются высокие показатели эффективности разделения. Смещение точки подачи питания каскада относительно оптимума, соответствующего минимально возможному числу центрифуг, существенно изменяет концентрации нецелевых изотопов в отборе и отвале каскада. Эту особенность оптимизации можно эффективно использовать для очистки регенерированного

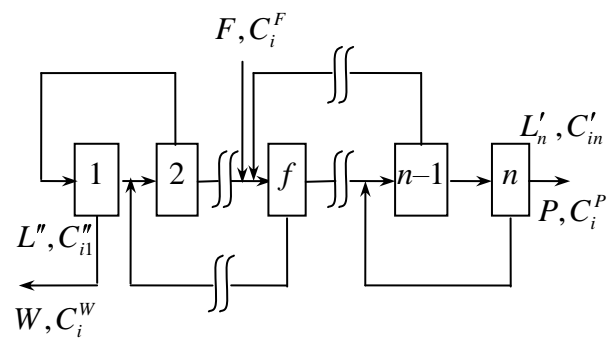
урана от ^{232}U .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Палкин В.А.** Определение оптимальных параметров каскада газовых центрифуг. – Атомная энергия, 1998, т. 84, вып. 3, с. 246–253.
2. **Палкин В.А., Комаров Р.С.** Оптимизация параметров каскада центрифуг при разделении регенерированного урана. – В сб.: X Всерос. науч. конф. «Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул». Звенигород, 2005, с. 50–55.
3. **Палкин В.А., Сбитнев Н.А., Фролов Е.С.** Расчет оптимальных параметров каскада для разделения многокомпонентной смеси изотопов. – Атомная энергия, 2002, т. 92, вып. 2, с. 130–133.
4. **Hooke R., Jeeves T.A.** Direct search solution of numerical and statistical problems. – Association Computing Machinery, 1961, № 8, p. 212–229.
5. **Палкин В.А.** Обобщение решения Смородинского для потенциала разделения многокомпонентной смеси изотопов. – Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 5, с. 373–382.
6. **Сазыкин А.А.** Термодинамический подход к разделению изотопов. – В кн.: Изотопы: свойства, получение, применение. Под ред. В.Ю. Баранова. М.: ИздАТ, 2000, с. 72–108.

ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ

Схема противоточного симметричного каскада: $1, 2, f, n-1, n$ – номер ступени



Т а б л и ц а 1. Внешние параметры каскада, оптимизированного по ^{235}U

Параметр	Питание	Отбор	Отвал
Поток UF_6 , г/с	15,9	2,1	13,8
Концентрация, %:			
^{235}U	0,85	4,4	0,3
^{234}U	0,016	0,099	0,003
^{232}U	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-9}$
^{236}U	0,35	1,29	0,2

Т а б л и ц а 2. Внутренние параметры каскада, оптимизированного по ^{235}U ($n=13, p=5$)

Номер ступени	N , тыс.	l , мг/с	θ	q_3	C_3'' , %	C_3' , %	$C_1', \cdot 10^{-6}$ %	C_2' , %	C_4' , %
1	0,4	64,3	0,47	1,52	0,30	0,45	0,02	0,005	0,27
2	0,7	67,7	0,46	1,5	0,37	0,56	0,03	0,007	0,31
3	0,94	69,5	0,46	1,49	0,46	0,68	0,04	0,009	0,35
4	1,14	70,6	0,46	1,49	0,56	0,83	0,07	0,01	0,39
5	1,29	71,8	0,46	1,48	0,69	1,01	0,12	0,02	0,44
6	1,01	73,2	0,46	1,48	0,83	1,22	0,15	0,02	0,51
7	0,78	73,8	0,45	1,47	1,01	1,48	0,19	0,03	0,59
8	0,6	74,2	0,46	1,47	1,22	1,78	0,25	0,03	0,68
9	0,44	74,6	0,46	1,47	1,47	2,15	0,32	0,04	0,78
10	0,32	75,1	0,46	1,47	1,78	2,59	0,43	0,05	0,89
11	0,21	75,9	0,46	1,47	2,14	3,1	0,57	0,06	1,02
12	0,13	77,4	0,46	1,46	2,57	3,71	0,78	0,08	1,15
13	0,06	80,5	0,47	1,45	3,09	4,4	1,07	0,1	1,29

Т а б л и ц а 3. Внешние параметры каскада, оптимизированного по ^{232}U ($n=34$)

Степень подачи питания	Отбор каскада, ^{232}U $9,1 \cdot 10^{-6}$ %, 0,26 г/с			Отвал каскада, ^{232}U $4 \cdot 10^{-10}$ %, 15,59 г/с			Число центрифуг, тыс.
	^{235}U , %	^{234}U , %	^{236}U , %	^{235}U , %	^{234}U , %	^{236}U , %	
28	13,02	0,58	2,07	0,646	0,007	0,321	24,2
29	11,32	0,54	1,83	0,675	0,007	0,325	25
30	10,19	0,53	1,63	0,694	0,008	0,329	25,6
31	8,58	0,48	1,4	0,721	0,008	0,333	26,7
32	6,93	0,43	1,17	0,748	0,009	0,336	28
33	5,27	0,36	0,95	0,776	0,01	0,34	29,6
34	4,01	0,29	0,79	0,797	0,012	0,343	30,9

Т а б л и ц а 4. Внутренние параметры каскада, оптимизированного по ^{232}U ($n, p=34$)

Номер ступени	N , тыс.	l , мг/с	θ	q_1	$C_1'', \cdot 10^{-6}$ %	$C_1', \cdot 10^{-6}$ %	C_2' , %	C_3' , %	C_4' , %
1	0,41	52,2	0,27	2,25	0,0004	0,0009	0,02	1,19	0,45
4	0,71	61,2	0,35	2,25	0,0009	0,002	0,03	1,65	0,55
7	0,88	62,8	0,37	2,25	0,002	0,005	0,05	2,17	0,64
10	0,93	62,5	0,37	2,25	0,005	0,01	0,07	2,64	0,7
13	0,95	62,8	0,37	2,25	0,01	0,03	0,09	2,98	0,73
16	0,96	62,8	0,37	2,25	0,03	0,06	0,11	3,24	0,75
19	0,97	62,9	0,37	2,25	0,06	0,14	0,14	3,44	0,76
22	0,97	62,9	0,37	2,25	0,14	0,31	0,16	3,58	0,76
25	0,97	62,9	0,37	2,25	0,32	0,71	0,19	3,68	0,77
28	0,98	63,0	0,37	2,25	0,73	1,62	0,22	3,76	0,77
31	0,99	63,2	0,38	2,25	1,7	3,76	0,25	3,84	0,77
34	1,07	66,5	0,43	2,25	4,11	9,09	0,29	4,01	0,79